

Desain *Multichannel Analyzer* Berbasis *Programmable System on Chip*

Havid Viqri M.R.¹, Singgih Hawibowo², Sunarno³

^{1,3} Jurusan Teknik Fisika FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

¹azcarecon@gmail.com

²singgih@ugm.ac.id

³sunarno@ugm.ac.id

Intisari— *Multichannel Analyzer* (MCA) adalah instrumen untuk merekam data spektrum radiasi nuklir. MCA biasanya dibuat sebagai sebuah instrumen tersendiri yang dilengkapi dengan tampilan data grafis. MCA semacam ini dapat digunakan untuk melakukan beberapa analisis data spektrum. Analisis data spektrum radiasi nuklir yang lebih baik dapat dilakukan dengan menggunakan Personal Computer (PC). Oleh karena itu, ada kebutuhan akan MCA yang terintegrasi berbasis PC. MCA ini dapat dibangun dalam rangkaian sederhana dengan menggunakan komponen elektronik analog dan digital dalam *Programmable System on Chip* (PSoC) *Microcontroller*. Makalah ini melaporkan penelitian dalam pengembangan rangkaian MCA dengan menggunakan mikrokontroler PSoC. Kinerja sistem MCA berbasis PC yang dikembangkan diukur dengan menggunakan uji waktu mati, uji *integral non-linearity* (INL), dan uji *differential non-linearity* (DNL).

Kata kunci— Analisis spektrum radiasi nuklir, MCA berbasis PC, PSoC.

Abstract— *Multichannel Analyzer* (MCA) is an instrument to record nuclear radiation spectrum data. MCA was usually built as a stand-alone instrument which is provided with a graphical data display. Such MCA can be used for some spectrum data analysis. A better nuclear radiation spectrum data analysis can be conducted by using a Personal Computer (PC). So, there is a need on an integrated PC based MCA. The MCA can be built in a simple circuit by using analogue and digital electronic components inside *Programmable System on Chip* (PSoC) *Microcontroller*. This paper reports a research on development of MCA circuit by using PSoC *Microcontroller*. A computer program for analyzing the radiation counting data has been developed. The performance of the developed PC based MCA system is measured by using dead time test, integral non-linearity (INL) test and differential non-linearity (DNL) test.

Keywords— Nuclear radiation spectrum analysis, PC-based MCA, PSoC.

I. PENDAHULUAN

Radiasi adalah pancaran energi baik berupa gelombang elektromagnetik ataupun partikel atomik atau sub atomik. Berdasarkan bentuk radiasinya maka radiasi dibagi menjadi radiasi gelombang elektromagnetik dan radiasi partikel. Berdasarkan sifat pengionnya radiasi terbagi menjadi radiasi pengion dan bukan pengion [1].

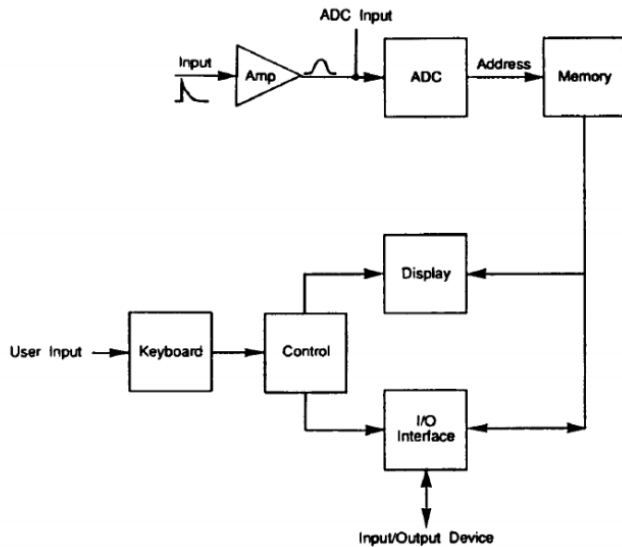
Radiasi bukan pengion memiliki panjang gelombang (λ) > 10 nm. Contoh radiasi bukan pengion adalah gelombang radio, gelombang mikro, cahaya tampak (390 nm < λ < 770 nm), dan sinar ultraviolet (10 nm < λ ≤ 390 nm) [1]. Radiasi pengion adalah jenis radiasi yang dapat mengionisasi atom, atau molekul dari medium yang dilewati oleh radiasi tersebut. Contoh radiasi pengion adalah sinar X (0,01 nm < λ < 10 nm), sinar gamma, partikel sub atom seperti elektron, positron, alfa [1]. Cahaya tampak dan panas dapat dideteksi melalui panca indera manusia, namun untuk radiasi dengan energi tinggi tidak dapat dideteksi dengan penginderaan manusia. Kita tidak dapat merasakan, melihat, mencium atau mendengar radiasi pengion. Oleh karena itu dibutuhkan suatu peralatan khusus untuk mendeteksi radiasi. Peralatan deteksi radiasi memanfaatkan sifat radiasi pengion yakni interaksinya dengan

materi sehingga memungkinkan untuk melakukan deteksi dan pengukuran terhadap radiasi tersebut [2].

Multichannel Analyzer (MCA) pada dasarnya adalah sebuah instrumen yang digunakan untuk mengkonversi sinyal analog (amplitudo pulsa) menjadi nilai digital yang sesuai. Kemudian nilai ini akan disimpan atau ditampilkan untuk kepentingan perekaman spektrum tinggi pulsa [3]. Dalam teknologi nuklir, MCA digunakan untuk mengukur spektrum energi sebuah sumber radioaktif, sehingga selanjutnya bermanfaat untuk mengetahui distribusi energi yang dimiliki oleh suatu sumber radioaktif atau mengidentifikasi sebuah sumber radioaktif berdasarkan distribusi energi yang terukur [1]. Pengukuran spektrum energi radioaktif ini dilakukan dengan melakukan perekaman distribusi tinggi pulsa dari partikel yang dipancarkan oleh sumber radioaktif yang terdeteksi oleh detektor. Metode pengukuran tinggi pulsa ini disebut dengan *pulse height analysis* (PHA). Metode ini dilakukan dengan mengelompokkan pulsa yang datang berdasarkan ketinggian pulsa tersebut, dan kemudian menyimpannya pada memori MCA yang disebut dengan nomor kanal. Gambar 1 menunjukkan komponen MCA [1].

Kemampuan *Personal Computer* (PC) dalam pengolahan data, penyimpanan data dengan kapasitas tinggi, pengiriman data, penyajian secara visual yang menarik serta teknik

pengolahan data lainnya sangat diperlukan dalam pengolahan data MCA sehingga pemanfaatannya dapat berkembang lebih cepat. Oleh karena itu, sebuah sistem MCA yang terintegrasi dengan PC semakin diperlukan.



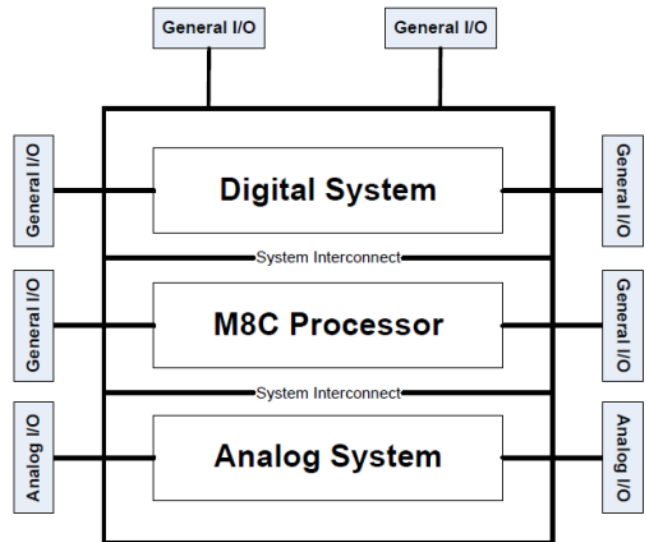
Gambar 1. Blok diagram sistem pencacah MCA [1]

Penelitian tentang MCA telah dilakukan dengan membentuk sebuah sistem MCA berbasis Microcontroller PIC18F4550 dan 2 buah ADC eksternal. MCA yang terbentuk pada penelitian ini memiliki resolusi sebesar 13 bit dan memiliki laju cacah maksimum secara teoritis sebesar 3840 cacah per sekon. *Microcontroller* digunakan untuk menghubungkan ADC dengan PC melalui serial port. Pada penelitian ini telah terbentuk juga sebuah software yang berguna untuk mengendalikan ADC, membaca data digital hasil konversi, dan penganalisis data [4]. Selanjutnya, sebuah penelitian spektrometer sinar gamma yang berbasis Pocket PC telah dilakukan. Spektrometer ini terbentuk berdasar ADC, *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dan *Pulse Amplifier*. Sistem yang terbentuk memiliki resolusi 12 bit dengan INL sebesar $\pm 0.45\%$. FPGA berfungsi sebagai penganalisis tinggi pulsa yang berasal dari amplifier. Sistem yang terbentuk terhubung dengan Pocket PC melalui serial port RS-232 yang berasal dari mikrokontroler. Pocket PC berfungsi sebagai akuisi data, tampilan dan penganalisis data. Secara keseluruhan sistem yang terbentuk memiliki laju cacah sebesar 160 kcps [5].

Pada penelitian ini, dilakukan pengembangan desain MCA berbasis PSoC yang terhubung dengan PC. PSoC berbeda dengan mikrokontroler yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya. PSoC adalah sebuah chip yang dapat mengolah sinyal digital dan analog, berbeda dari mikrokontroler biasa yang hanya dapat mengolah sinyal digital. Di dalam PSoC terdapat blok pengolah sinyal analog seperti ADC, komparator, amplifier, filter dan lain sebagainya, serta blok pengolah sinyal digital. Blok-blok ini dapat diatur melalui sebuah pemrograman sesuai dengan keinginan pemakai. Beberapa jenis PSoC memiliki jumlah blok analog

dan digital yang berbeda beda, sehingga perlu diperhatikan pemilihan jenis PSoC yang sesuai dengan kebutuhan pemakai.

Gambar 2 menunjukkan Blok diagram PSoC 1 [6]. Dapat dilihat melalui Gambar 8 bahwa PSoC memiliki pengolahan sinyal digital dan analog serta M8C sebagai *processor* atau pengeksekusi perintah. Oleh karena itu, pada penelitian ini tidak diperlukan komponen ADC eksternal maupun SRAM seperti pada penelitian sebelumnya.



Gambar 2. Diagram Blok PSoC [6]

Dalam MCA, sebuah *analog to digital converter* (ADC) digunakan untuk menghasilkan nilai digital dari amplitudo pulsa. ADC sendiri adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk memberikan nilai digital yang sesuai dengan amplitudo dari sinyal masukan analognya. Nilai digital ini dihasilkan dari pembagian tinggi pulsa terhadap resolusi ADC. Resolusi ADC menentukan banyaknya kanal yang dimiliki oleh MCA, dan nilai digital yang dihasilkan menentukan nomor kanal jumlah pulsa dengan tinggi pulsa tersebut akan disimpan dalam memori MCA [1]. Beberapa hal penting yang perlu diperhatikan dalam pemilihan ADC adalah kecepatan konversi, linearitas dan resolusi konversi. Beberapa jenis ADC sebagai di antaranya adalah *Incremental ADC*, *Successive Approximation ADC*, *Flash ADC* [3]. Nilai digital yang dihasilkan oleh ADC dari suatu sinyal masukan dapat diperoleh berdasarkan Persamaan 1 [7].

$$output = G.2^n \cdot \frac{V_{in}}{V_{ref}} \quad (1)$$

dengan:

- | | |
|-----------|--|
| output | : Nilai digital yang dihasilkan ADC |
| V_{in} | : Nilai tegangan sinyal masukan dalam volt |
| V_{ref} | : Tegangan referensi dalam Volt |
| n | : Besarnya resolusi yang dimiliki ADC |
| G | : Gain konversi |

Banyaknya jumlah kanal yang dibutuhkan oleh MCA maksimum antara hasil teoritis dengan hasil pengukuran. ditentukan berdasarkan Persamaan 2 [1,3].

$$channel = h \frac{E}{\Gamma} \quad (2)$$

dengan:

channel : Banyak kanal yang dibutuhkan
E : Rentang energi yang diinginkan (keV)
 Γ : FWHM (keV)
h : 3-5

Dengan h adalah sebuah faktor yang nilainya sesuai dengan jumlah *Full Width at Half Maximum* (FWHM) atau lebih besar [1,3]. FWHM adalah lebar dari distribusi Gauss pada posisi setengah dari nilai maksimum. MCA ideal akan menghasilkan konversi tinggi pulsa ke nomor kanal secara linear. Dalam kondisi ini, sebuah grafik yang dibentuk dari tinggi pulsa terhadap nomor kanal akan berbentuk garis lurus sederhana. Linearitas dari MCA dapat diukur melalui beberapa cara [3]. Cara pertama adalah dengan melakukan pengukuran langsung pada nomor kanal sebuah pulsa yang diketahui tinggi pulsanya dicacah dan direkam oleh MCA. Selanjutnya sebuah plot tinggi pulsa terhadap nomor kanal dibentuk. Penyimpangan maksimal hasil plot pengukuran terhadap garis lurus ideal pengukuran adalah pengukuran integral *non linearity* (INL). Linearitas ini biasa dinyatakan dalam satuan persen[3]. Ketidaklinearan untuk instrumen yang baik biasanya tidak lebih dari 0,1% [8]. Persamaan 2 menunjukkan persamaan garis dari hasil plot nomor kanal terhadap tinggi pulsa dan digunakan untuk menentukan nomor kanal ideal C_i yang dibutuhkan pada perhitungan ketidaklinearan integral pada Persamaan 4. Besarnya ketidaklinearan integral dapat dinyatakan dalam satuan *Least Significant Bit* (LSB) atau persen [1].

$$y = mx + c \quad (3)$$

dengan:

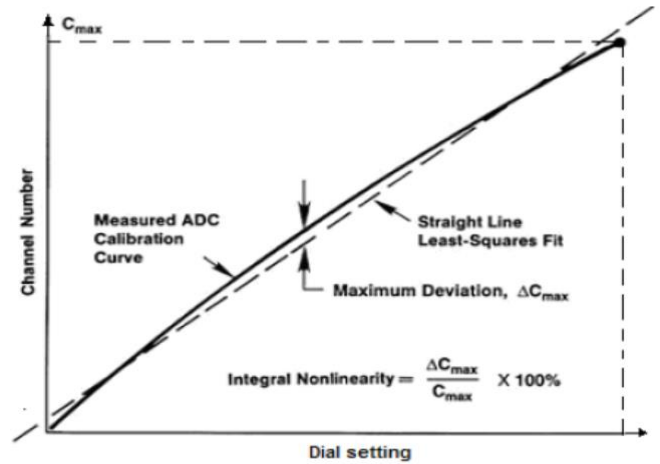
y : Nomor kanal
m : Gradien garis hasil plot
x : Tinggi pulsa
c : *Zero intercept*

$$\%INL = \frac{|C_r - C_i|}{C_{max}} \cdot 100\% \quad (4)$$

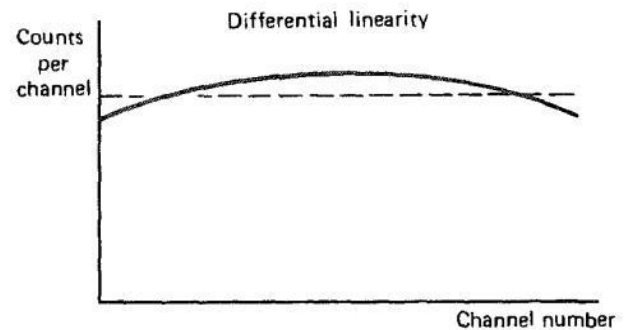
dengan:

%INL : Ketidaklinearan integral (%)
 C_r : Nomor kanal terukur
 C_i : Nomor kanal ideal
 C_{max} : Nomor kanal maksimum

Gambar 3 menunjukkan grafik hasil pengukuran INL. Dari Gambar 3 dapat diketahui bahwa terdapat penyimpangan antara hasil pengukuran dengan garis lurus teoritis yang terbentuk. Nilai INL dapat diperoleh dari nilai penyimpangan



Gambar 3. Grafik Pengukuran Linearitas Integral [3].



Gambar 4. Grafik Pengukuran Linearitas Diferensial [3].

Gambar 4 menunjukkan grafik pengukuran DNL. Garis putus-putus pada Gambar 4 menunjukkan nilai rerata dari hasil pencacahan, sedangkan garis mulus menunjukkan cacah terukur.

Cara yang lebih sensitif untuk mendeteksi adanya ketidaklinearan adalah dengan menggunakan sebuah sumber pulsa dengan jumlah pulsa yang sama pada berbagai tinggi pulsa. Jika MCA terhubung untuk merekam pulsa-pulsa tersebut pada suatu periode tertentu, maka seharusnya terbentuk distribusi cacah yang seragam pada seluruh kanal. Metode kalibrasi ini digunakan untuk mengukur *differential non linearity* (DNL). MCA yang baik memberikan presentase penyimpangan keseragaman yang relatif kecil [3]. Besarnya DNL dapat ditentukan melalui besarnya penyimpangan maksimum dari cacah pulsa rerata yang terukur sesuai dengan Persamaan 4 [8].

$$\%DNL = \frac{|N_{ave} - N_x|}{N_{ave}} \cdot 100\% \quad (5)$$

dengan:

%DNL : *Differential Non Linearity* (%)
 N_x : Cacah pada kanal x
 N_{ave} : Cacah rerata

Dalam penggunaannya, MCA juga memiliki waktu mati atau *Dead Time*, yakni waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 1 proses pencacahan pada kanal yang sesuai. Waktu mati ini dipengaruhi oleh jumlah kanal yang dimiliki oleh MCA [1]. *Dead time* dapat dihitung melalui Persamaan 6. Besarnya waktu mati ini dipengaruhi oleh beberapa hal yakni [1]: *pulse rise time* (t_r), waktu konversi dari ADC (t_c), waktu untuk menyimpan hasil konversi (t_d).

$$\tau = t_r + t_c + t_d \quad (6)$$

dengan:

- τ : Waktu mati (detik)
- t_r : *Pulse rise time* (detik)
- t_c : Waktu konversi (detik)
- t_d : Waktu pengiriman data hasil pencacahan (detik)

Besarnya waktu mati rerata untuk proses konversi ADC dapat ditentukan berdasarkan Persamaan 7.

$$t_c = \frac{1}{\text{sampling rate}} \quad (7)$$

dengan:

- t_c : Waktu konversi (detik)
- sampling rate* : Banyaknya konversi yang dapat dilakukan setiap satuan waktu

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk komunikasi sinyal digital dengan perangkat lain. Komunikasi melalui sinyal digital ini dapat dilakukan dari UART menuju *modules*, *Personal Computer* (PC) dan lain sebagainya. UART bekerja dengan mengambil data dalam ukuran *byte* dan mengirimkan data tersebut dalam bentuk setiap bit dari data yang diambil secara berurutan. Saat data tiba di tujuan, maka penerima akan menggabungkan kembali beberapa bit yang telah dikirimkan tersebut menjadi sebuah data utuh seperti awalnya [11].

Metode *asynchronous transmission* adalah dengan pengiriman data tidak harus mengirimkan sinyal *clock* pada penerima data. Untuk mencapai hal itu maka bagian pengirim dan penerima pada UART dan perangkat lain harus memiliki kesamaan parameter Baud Rate pembacaan dan pengiriman data. Baud rate memiliki pengertian sebagai banyaknya bit yang dikirim per satuan waktu [11]. Pada pengiriman bit data, beberapa bit khusus ditambahkan untuk memberi tanda bahwa satu paket data akan dikirim dan sebagai penanda bahwa sebuah data telah selesai dikirim. Bit-bit tersebut adalah start bit, stop bit dan *parity bit* [11].

Programmable Gain Amplifier (PGA) pada dasarnya adalah sebuah *non-inverting operational amplifier* (op-amp) dengan gain yang dapat diubah sesuai kebutuhan penggunaannya. Perubahan *gain* ini dilakukan melalui sebuah pemrograman. Pada PSoC, perangkat PGA memiliki impedansi masukan yang tinggi, *bandwidth* yang relatif cukup lebar serta pemilihan referensi yang fleksibel [12]. *Programmable Comparator* adalah sebuah perangkat yang terbentuk dari

continues time op-amp dengan meniadakan fungsi kapasitor kompensasi internal. Perangkat ini digunakan untuk membandingkan besarnya tegangan masukan dengan tegangan batas [13]. Penelitian ini juga tidak menggunakan *multiplexer* dan komponen RS-232 seperti pada penelitian sebelumnya. Pengiriman data pada desain MCA yang dikembangkan dilakukan melalui komponen TTL to USB converter. Dalam penelitian ini juga dilakukan pembuatan *software* MCA yang bekerja pada *operating system* Windows yang dibuat melalui *software package Delphi*.

Desain instrumentasi nuklir dapat mengacu pada standar *Nuclear Instrument Module* (NIM) yang dibuat oleh *Nuclear Regulatory Commission*. Tujuan utama dari NIM adalah untuk mendesain instrumentasi nuklir komersial [1]. Oleh karena itu spesifikasi MCA komersial dapat dijadikan sebagai acuan. Tabel 1 menunjukkan beberapa spesifikasi MCA komersial.

TABEL 1
SPESIFIKASI MCA STANDAR[9,10]

Parameter	Vendor	
	ORTEC	AMPTEC
Nama produk	EASY-MCA	MCA000D
Resolusi ADC	512,1k,2k,4k	256,512,1k,2k,4k,8k
Waktu konversi	2 ns	10 ns
Koneksi PC	USB 2	USB, RS-232, Ethernet
Input	0 V – 12 V (maksimum)	0 V – 1 V atau 0 V – 10 V
Differential	<±1%	<±0,6%
Nonlinearity		
Integral	≤ ±0,025%	≤ ±0,02%
Nonlinearity		
Suplai Daya	USB Power atau DC Adapter 4-5,5 V; 0,4 A	DC Adapter 12 V 0,4 A

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan penelitian

Bahan-bahan yang disiapkan untuk penelitian ini di antaranya adalah *Microcontroller* PSoC Seri CY8C29466, *USB to TTL Converter*, Transistor NPN C9013, Kapasitor 56 nF, 470 nF, Resistor.

B. Alat

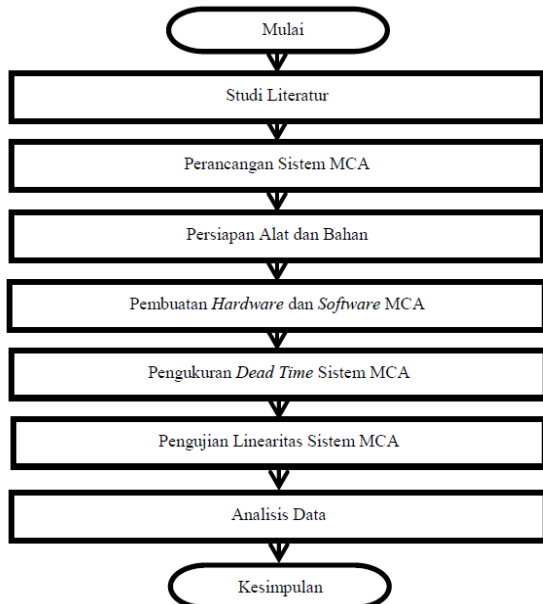
Alat yang diperlukan adalah solder, DC *power supply*, *pulse generator*, dan osiloskop.

C. Langkah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan langkah-langkah berdasarkan pada Gambar 5. Studi literatur dilakukan dengan mencari sumber-sumber yang relevan tentang MCA, yaitu mengenai sistem kerja dan penelitian serta pengembangan yang telah ada sebelumnya. Selanjutnya perancangan sistem MCA dilakukan dengan merancang sistem MCA dengan PSoC 1 sebagai basis dari MCA sesuai prinsip dasar cara kerja MCA. Setelah rancangan sistem terbentuk, penelitian

dilanjutkan dengan mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan membuat MCA berbasis PSoC serta mempersiapkan alat pengujian. Dari alat dan bahan yang diperoleh kemudian dilakukan pembentukan *hardware* MCA dan *software* MCA.

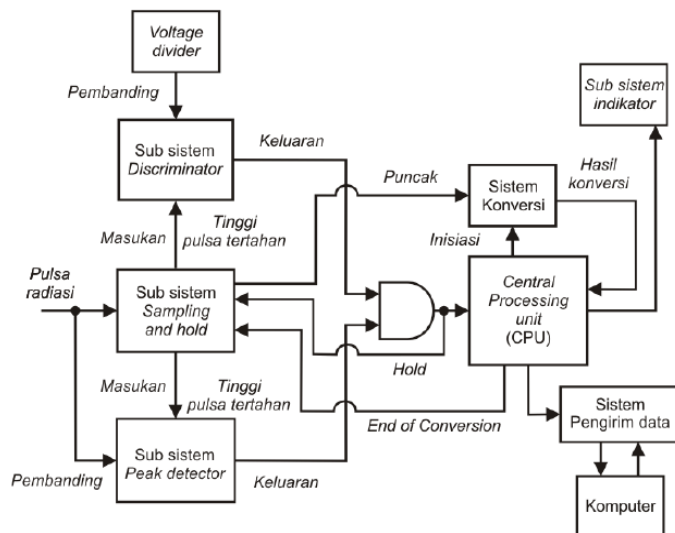
Setelah Sistem MCA berbasis PSoC terbentuk, maka dilakukan pengujian *dead time* dan linearitas dari MCA terbentuk. Dari hasil pengujian ini tersebut kemudian dilakukan analisis data hasil pengujian dan diambil beberapa kesimpulan.



Gambar 5. Diagram alir langkah penelitian

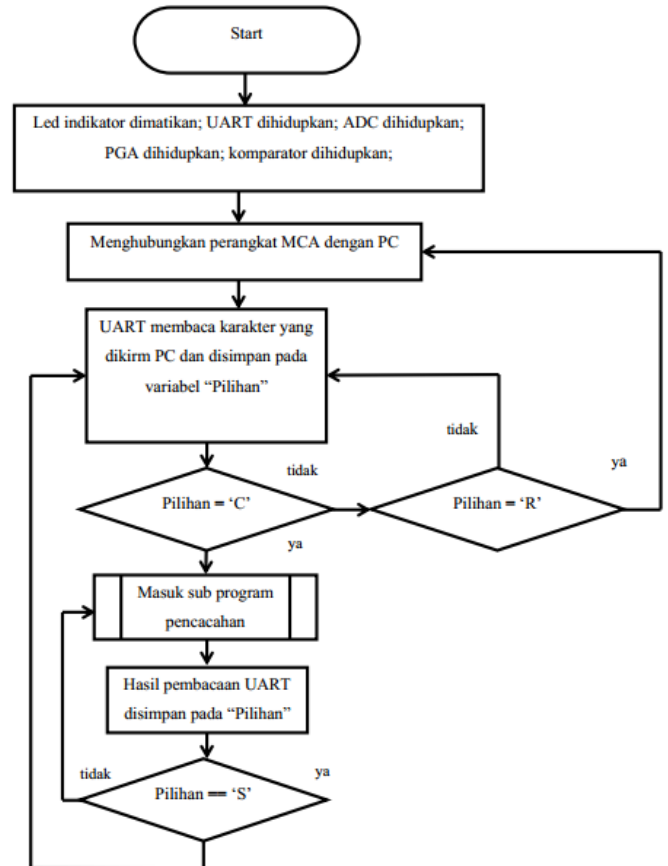
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hardware MCA



Gambar 6. Skema sistem MCA

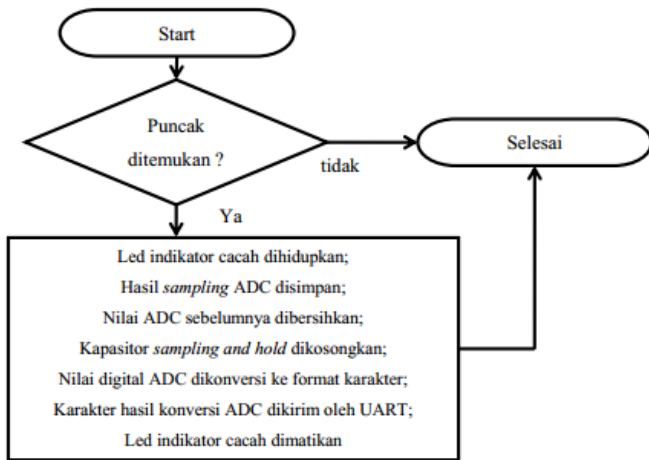
Alur kerja Sistem MCA: Secara garis besar, alur kerja sistem MCA ditunjukkan oleh Gambar 6. Pada awalnya sinyal radiasi yang ditangkap oleh detektor, diubah menjadi sebuah pulsa listrik. Kemudian pulsa hasil konversi radiasi ini diolah oleh rangkaian pengkondisi sinyal di luar sistem MCA. Sinyal yang telah diolah ini selanjutnya disebut sebagai pulsa radiasi, yang menjadi masukan dari sistem MCA.



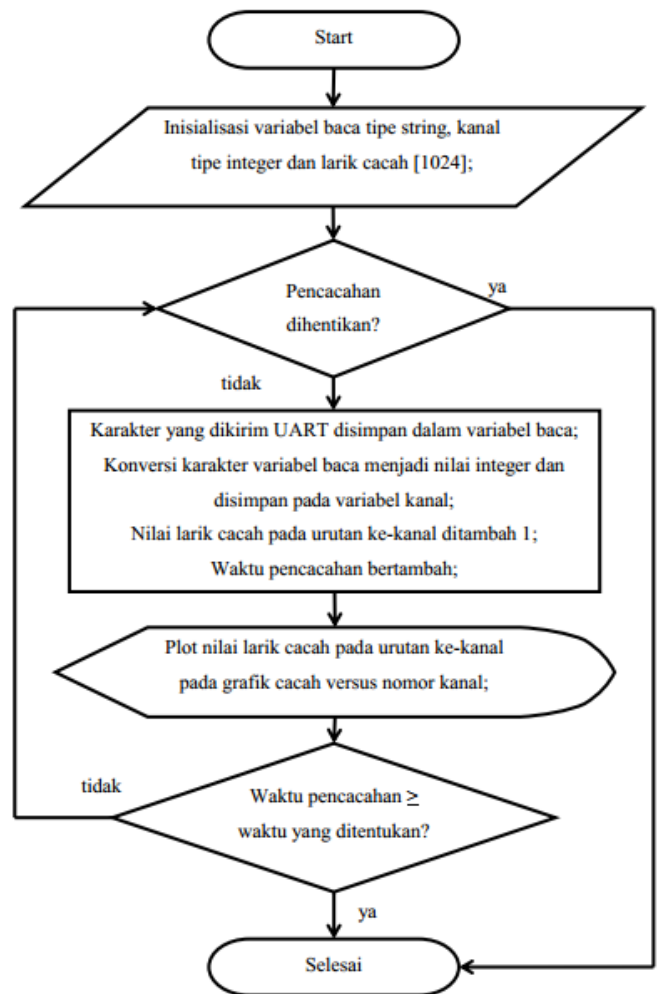
Gambar 7. Diagram alir program utama hardware MCA

Di dalam sistem MCA, pulsa radiasi ini selanjutnya menuju ke sub sistem *sampling and hold* dan menuju ke sub sistem *peak detector* sebagai pembanding. Pada sub sistem *sampling and hold*, pulsa radiasi tersebut akan ditahan ketinggian puncaknya dan selanjutnya menjadi masukan bagi sub sistem *peak detector* dan sub sistem *discriminator*. Puncak pulsa radiasi ini kemudian dibandingkan dengan tegangan pembanding yang dibentuk rangkaian *voltage divider* atau rangkaian pembagi tegangan pada sub sistem *discriminator* dan dibandingkan dengan pulsa radiasi yang asli pada sub sistem *peak detector*. Selanjutnya, hasil keluaran dari sub sistem *discriminator* dan sub sistem *peak detector* menjadi masukan gerbang AND. Logika keluaran dari gerbang AND kemudian diolah oleh *Central Processing Unit* (CPU) untuk menginisiasi proses konversi puncak pulsa radiasi. Proses konversi ini dilakukan oleh sub sistem konversi. Ketika proses konversi berlangsung, CPU akan mengaktifkan sub sistem indikator untuk memberikan indikasi bahwa proses

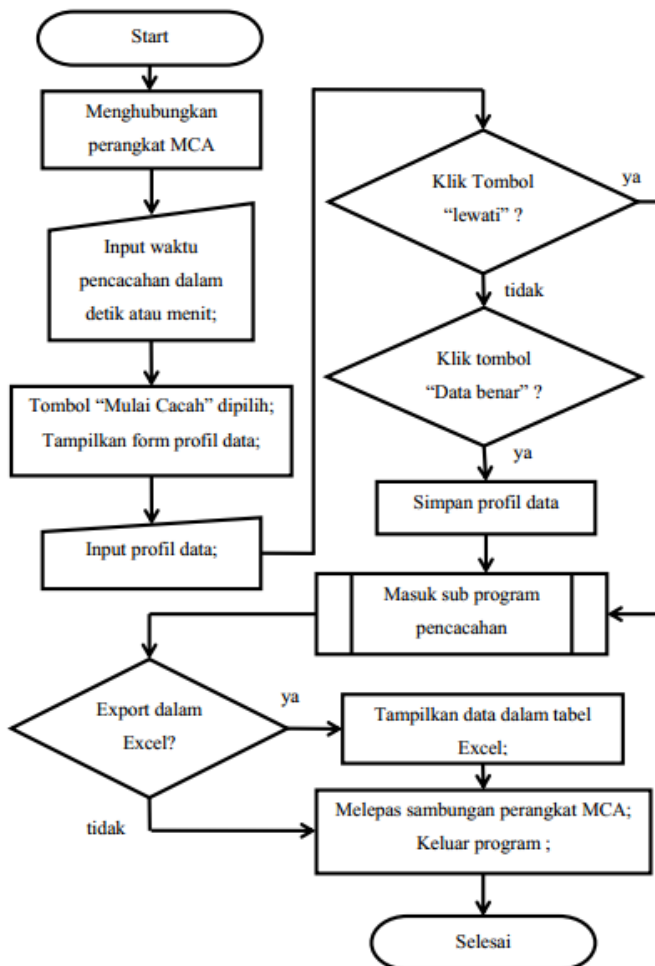
pencacahan pulsa radiasi sedang dilakukan. Selanjutnya hasil konversi yang telah diperoleh akan diolah oleh CPU untuk dikirim melalui sub sistem pengirim data menuju komputer.



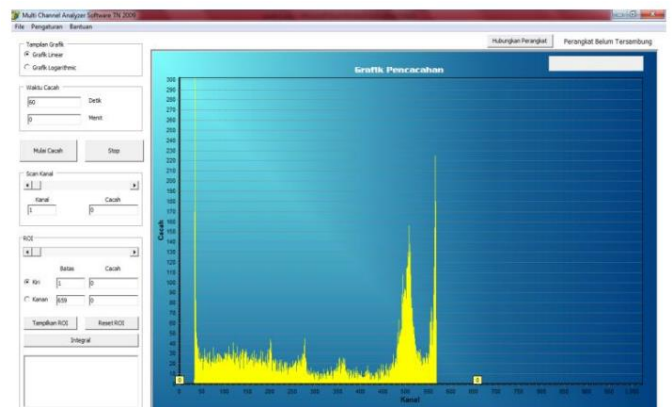
Gambar 8. Diagram alir sub program pencacahan *hardware* MCA



Gambar 10. Diagram alir sub program pencacahan *software* MCA.



Gambar 9. Diagram alir program utama *software* MCA



Gambar 11. Hasil running software MCA

TABEL 2
TABEL HASIL PENGUKURAN INL DAN DNL SUBSISTEM KONVERSI DAN PENGIRIMAN DATA

Tegangan (V)	Kanal	Cacah	Kanal ideal	Deviasi cacah	INL	DNL
0,5	102	224,3	101,7	107,13	0,02%	32,32%
0,6	122	369,0	122,4	37,53	0,04%	11,32%
1,01	205	395,7	207,3	64,20	0,23%	19,37%
1,02	205	395,7	209,4	64,20	0,43%	19,37%
1,6	329	396,0	329,5	64,53	0,05%	19,47%
2,06	425	268,0	424,8	63,47	0,02%	19,15%
2,51	521	300,3	518,1	31,13	0,29%	9,39%
3,06	638	218,3	632,0	113,13	0,54%	34,13%
3,53	734	365,3	729,4	33,87	0,45%	10,22%
3,57	742	284,3	737,6	47,13	0,43%	14,22%
4,02	831	369,3	830,9	37,87	0,01%	11,42%
4,03	835	289,7	832,9	41,80	0,20%	12,61%
4,46	920	393,0	922,0	61,53	0,20%	18,56%
4,51	930	394,7	932,4	63,20	0,23%	19,07%
4,95	1016	308,3	1023,5	23,13	0,73%	6,98%
Rerata		331,5				

INL dan DNL sub sistem konversi dan pengiriman data: dari Tabel 2 dapat diketahui hasil pengukuran INL sub sistem konversi dan pengiriman data digital. Melalui metode regresi linear, maka akan diperoleh sebuah persamaan garis untuk menentukan nilai kanal ideal. Berdasar Persamaan 3, maka diperoleh INL dari sub sistem konversi dan komunikasi data digital sebesar 0,73%. Nilai INL ini mempengaruhi ketepatan ADC dalam menempatkan nilai digital yang sesuai dengan tinggi pulsa yang terbaca.

Dari Tabel 2 diperoleh rata-rata cacah yang dapat dilakukan oleh sub sistem konversi dan komunikasi data digital sebesar 331,5 cps. Penyimpangan dari rata-rata terbesar pada berada pada kanal 638 dengan penyimpangan sebesar 113,13 cps. Berdasar Persamaan 4, maka diperoleh DNL dari sub sistem konversi dan komunikasi data digital sebesar 32,32%. Nilai DNL ini akan mempengaruhi jumlah cacah pada kanal yang bersesuaian dengan tinggi pulsa terukur.

TABEL 3
TABEL WAKTU MATI SISTEM MCA

Jenis waktu	Waktu (detik)
Pulsa mencapai puncak	$1,300.10^{-6}$
Konversi data	$5,198.10^{-4}$
Pengiriman data	$2,052.10^{-3}$
Total	$2,573.10^{-3}$

Waktu mati sistem MCA: Dari Tabel 3 diperoleh waktu mati sistem MCA sebesar $2,573.10^{-3}$ detik. Dari nilai waktu mati ini dapat diketahui bahwa sistem MCA yang terbentuk memerlukan waktu sebesar $2,573.10^{-3}$ detik untuk menyelesaikan 1 proses pencacahan. Jika ada pulsa yang masuk sistem dalam rentang waktu mati ini, maka pulsa tersebut tidak akan dicacah. Nilai waktu mati ini mempengaruhi laju cacah maksimum yang dapat dilakukan oleh sistem MCA.

Besarnya nilai waktu mati ini mengakibatkan banyak radiasi yang tidak tercacah. Hal ini akan mengurangi informasi yang seharusnya didapatkan. Untuk mengatasi

permasalahan ini dapat dilakukan beberapa hal, yakni : (a) penggunaan metode koreksi waktu mati. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan cacah radiasi yang seharusnya terukur, (b) memperpendek waktu mati sistem MCA yang dapat dilakukan dengan perbaikan algoritma sistem pencacahan MCA terutama pada waktu pengiriman data, (c) perbaikan desain konversi sistem MCA, yaitu dengan menggunakan beberapa ADC dengan waktu konversi yang relatif jauh lebih cepat dari waktu konversi ADC yang digunakan pada penelitian ini. Dengan menggunakan beberapa ADC, maka dimungkinkan untuk mencacah pulsa radiasi secara simultan, sehingga data pengukuran yang hilang akan berkurang.

TABEL 4
TABEL HASIL PENGUKURAN INL SISTEM MCA

Tinggi pulsa (V)	Kanal puncak uji ke-			Kanal rerata	Kanal ideal	INL (%)
	1	2	3			
0,6	38	38	38	38,0	-	-
1,0	38	38	38	38,0	-	-
1,6	38	38	38	38,0	21,39	1,62%
2,0	96	97	97	96,7	100,31	0,36%
2,6	205	205	205	205,0	218,68	1,34%
3,0	289	289	289	289,0	297,60	0,84%
3,6	416	417	416	416,3	415,97	0,04%
4,0	498	499	497	498,0	494,89	0,30%
4,6	616	615	616	615,7	613,26	0,23%
5,0	696	695	696	695,7	692,18	0,34%

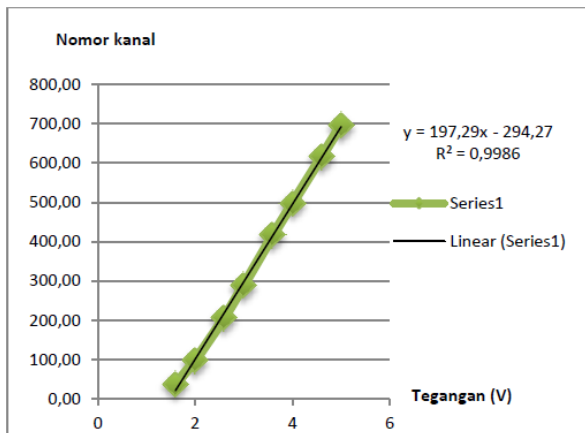
INL sistem MCA: Dari Tabel 4 dapat diketahui bahwa pada pengukuran tinggi pulsa 0,6 V dan 1 V tidak dilakukan perhitungan INL. Hal ini dikarenakan pada pengukuran tinggi pulsa tersebut ditemukan adanya kesamaan nomor kanal pada tinggi pulsa yang berbeda. Munculnya nomor kanal yang sama pada tinggi pulsa yang berbeda ini disebabkan karena adanya kebocoran arus pada transistor penguat rangkaian sampling and hold dan tersimpan pada kapasitor, sehingga ADC selalu mencacah tinggi pulsa yang disebabkan oleh arus bocor ini.

Sesuai dengan Tabel 4 yang didapat dari hasil penelitian, dapat dilihat bahwa deviasi maksimum berada pada kanal 38. Dengan demikian, diperoleh INL sistem MCA sebesar 1,62%. Nilai INL ini memberikan arti bahwa Sistem MCA yang terbentuk masih memiliki rata-rata kesalahan dalam menempatkan nomor kanal sesuai dengan tinggi pulsa terukur sebesar 1,62%. Jika dibandingkan dengan MCA standar sesuai dengan Tabel 1, maka INL sistem MCA yang terbentuk belum memenuhi standar.

Berdasarkan pembahasan pada poin pertama, diperoleh INL sistem konversi dan pengiriman data sebesar 0,73% maka dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan INL pada sistem MCA. Jika nilai tegangan yang terukur berasal dari hasil *sampling and hold* pada sub sistem *peak detector*, maka dapat disimpulkan bahwa INL Sistem MCA juga dipengaruhi oleh sistem *peak detector*.

Untuk mengatasi peningkatan INL oleh sistem peak detector, maka dapat dilakukan penggantian kapasitor penahan

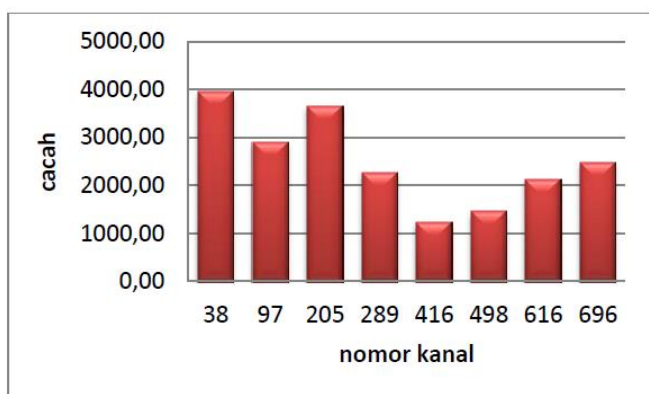
tinggi pulsa pada sub sistem sampling and hold dengan kapasitor yang memiliki kualitas yang relatif lebih baik, sehingga akan memperkecil kebocoran dan penurunan tinggi puncak pulsa pada kapasitor.



Gambar 12. Grafik hasil pengukuran INL

TABEL 5
TABEL HASIL PENGUKURAN DNL MCA TERBENTUK

Tinggi pulsa (V)	Cacah terukur	Kanal puncak	Rerata cacah kanal puncak	Deviasi	DNL
0,6	3689,33	38	-	-	-
1,0	3698,33	38	-	-	-
1,6	6242,33	38	3951,00	1442,3	57,49%
2,0	6248,67	97	2899,00	390,33	15,56%
2,6	6226,33	205	3658,33	1149,7	45,83%
3,0	6306,67	289	2267,33	241,33	9,62%
3,6	6199,33	416	1234,00	1274,7	50,81%
4,0	6260,67	498	1454,00	1054,7	42,04%
4,6	6260,67	616	2128,33	380,33	15,16%
5,0	6224,33	696	2477,33	31,333	1,25%
Rerata			2508,67		



Gambar 13. Grafik hasil pengukuran DNL

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran DNL dari Sistem. Sesuai Tabel 5 dapat diketahui bahwa deviasi tertinggi sebesar

1442,3 cacah tercapai pada kanal 38. Dengan demikian, diperoleh hasil pengukuran DNL sistem MCA sebesar 57,49%. Hal ini memberikan arti bahwa Sistem MCA masih memiliki kesalahan dalam memberikan jumlah cacah pada setiap kanal yang bersesuaian.

Pada pembahasan poin pertama, diperoleh DNL dari sub sistem konversi dan pengiriman data sebesar 32,32%. Jika sistem MCA yang terbentuk secara keseluruhan memiliki DNL sebesar 57,49%, maka dapat diketahui bahwa DNL sistem MCA juga dipengaruhi sistem *peak detector*.

Adanya peningkatan nilai DNL ini disebabkan oleh kebocoran kapasitor pada rangkaian *sampling and hold*. Hal ini menyebabkan adanya penempatan nomor kanal yang tidak sesuai dengan tinggi pulsa yang tertahan sehingga mempengaruhi jumlah pencacahan dan DNL sistem secara keseluruhan.

Jika dibandingkan dengan MCA standar sesuai dengan Tabel 1, maka DNL sistem MCA yang terbentuk relatif jauh lebih besar sehingga dapat diketahui bahwa sistem MCA yang terbentuk memiliki DNL yang belum optimal.

IV. KESIMPULAN

Sebuah penelitian tentang desain sistem *Multichannel Analyzer* berbasis *Programmable System on Chip* telah dilakukan. Pengujian waktu mati, *integral non-linearity* (INL) dan *differential non-linearity* (DNL) telah dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem MCA yang terbentuk. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh INL sebesar 1,62%, DNL sebesar 57,49%, dan waktu mati sebesar 2,573.10-3 detik. Dibanding dengan MCA komersial, nilai DNL dan waktu mati ini masih terlalu besar. Melalui pengembangan lebih lanjut, diharapkan sistem MCA yang terbentuk dapat memenuhi standar.

Untuk mencapai hasil yang lebih baik, maka penulis memiliki beberapa gagasan untuk penelitian selanjutnya, yakni: perbaikan desain sistem *peak detector*, penggunaan ADC dengan waktu konversi yang lebih pendek dan linearitas yang lebih baik, dan penggantian sambungan Serial UART dengan USB, LAN atau *Wireless*.

Dalam pengujian linearitas integral perlu diperhatikan sumber pulsa yang digunakan dalam hal lebar pulsa dan frekuensi. Dalam pengujian linearitas diferensial perlu diperhatikan jumlah sumber pulsa yang digunakan agar diperoleh tingkat kepercayaan data yang tinggi.

REFERENSI

- [1] N. Tsoulfanidis, *Measurement and Detection of Radiation*. Washington DC: Taylor & Francis, 1995.
- [2] Anonim, *Detection and Measurement of Radioactivity*. NDT Resource Center [Online]. Diakses dari: <http://www.ndt-ed.org/EducationResources/HighSchool/Radiography/detectionmeasurement.htm>.
- [3] G.F. Knoll, *Radiation Detection and Measurement 3rd ed.*, Michigan: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [4] Fonseka. W. S. N, Jayananda. M. K., "Development of PC Based Multichannel Analyzer for Gamma Ray Spectrometry," *Proc.*

- Technical Sessions*, 2012, pp. 31-36.
- [5] Ploykrachang. Kamontip, Aram. Thong. Decho, Punnachaiya. Suvit, Baotong. Somchai, "Pocket PC-based portable gamma-ray spectrometer," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 33, pp. 215 – 219, 2011.
- [6] *AN75320 Getting Started with PSoC 1*, Cypress Semiconductor Corp., 2012.
- [7] "7- to 13-Bit Variable Resolution Incremental ADC Data Sheet", Cypress Semiconductor Corp., San Jose.
- [8] *Test Procedure for Multichannel Analyzer Systems*, IAEA, 2008.
- [9] *Easy-MCA-2k/8k*, ORTEC, 2013.
- [10] *MCA800D*, Amptek, 2013.
- [11] Durda. Frank. Serial and UART Tutorials. [Online] Diakses dari: <http://ftp.freebsd.org/pub/FreeBSD/doc> .
- [12] *Programmable Gain Amplifier Data Sheet*, Cypress Semiconductor Corp., 2008.
- [13] "Programmable Threshold Comparator Data Sheet", Cypress Semiconductor Corp., San Jose